Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, p. 193-206

Potential Assessment of Energy Providing for Bagasse-Based Chipboard Industry Using Sugarcane Waste (A case study: Debal Khozaie Agro-Industry)

E. Alboativi[1], A. Asakereh[2*], H. Zaki Dizaji[3], Y. Mansoori[2]

1- MSc of Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor of Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3- Associate Professor of Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: A.asakereh@scu.ac.ir)

Received: 04-07-2020 Revised: 02-09-2020 Accepted: 19-10-2020	**How to cite this article:** Alboativi, E., A. Asakereh, H. Zaki Dizaji, and Y. Mansoori. 2022. Potential Assessment of Energy Providing for Bagasse-Based Chipboard Industry Using Sugarcane Waste (A case study: Debal Khozaie Agro-Industry). Journal of Agricultural Machinery 12 (2): 193-206. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.v12i2.87600

Introduction: Bagasse is the dry pulpy fibrous residue that remains after sugarcane stalks are crushed for juice extraction. Bagasse is widely used in conversional and by-product industries. Bagasse is commonly used as a substitute for wood in many tropical and subtropical countries for the production of pulp, paper, and board. One of the most important conversional industries in the sugarcane agro-industry is chipboard production. In recent years, two chipboard factories from bagasse were exploited in Khuzestan province. In the production of chipboard from bagasse, a lot of waste is produced, most of which include pith. The waste is transferred to the outside of the factory at a great cost and energy level. Also, annually, a large amount of surplus bagasse of conversional Industries is obtained in Khuzestan agro-industries. These wastes cause many environmental and health problems, while these wastes can be used to generate energy. On the other hand, chipboard industries consume a lot of energy which is mostly fossil energy. Nowadays, in many sugarcane agro-industries in different countries, wastes are used to generate energy for sugar plants and conversional industries. Bagasse is often used as a primary fuel source for sugar mills.

Materials and Methods: Current research is focused on the direct energy consumed in chipboard production from sugarcane bagasse and whether it can be provided by using residues and wastes of Debal Khozaie Agro-Industry Company. Data were collected from agro-industry companies as well as by sampling and measuring waste, input and energy consumption at the chipboard factory of Debal Khozaie. Direct energy consumed in the chipboard production from bagasse includes diesel fuel, electricity, natural gas, and labor. Input and output values of materials (bagasse, pith, etc.), and energy consumption (electricity, diesel, natural gas, etc.) were collected using both laboratory tests and data available in agro-industry. Potential of energy generation from bagasse, pith, wood chips, and straw in Debal Khozaie agro-industry, were considered by the direct burning method. Also, the potential of biogas production from vinasse in agro-industry for energy production was calculated. The moisture of bagasse (fresh bagasse, 24 hours, five days, 30 days, and 45 days after gathering), outdoor dried pith, outdoor dried straw and wood chip were measured based on the ASTM D2974 standard method in the laboratory. Ash percentage of bagasse, peat, straw, and Wood chips were measured using a furnace, desiccator and a scale. Also, the lower heating value of bagasse, straw, pith, and wood chips were measured using a calorimeter bomb.

Results and Discussion: The direct energy consumption in the chipboard factory was determined to be 5.829 GJ m^{-3} of produced chipboard. Natural gas and electricity were the major sources of direct energy with 78.52% and 18.87% share, respectively. To replace these sources, pith and woodchips form chipboard factory, sugarcane leaves, remainder sugarcane bagasse, and vinasse from molasses-based Razi alcohol factory were considered. Properties of the substituted resources were determined including ash, moisture content, heating value (using bomb calorimeter), and amount of woodchips along with the biogas potential from anaerobic fermentation of vinasse. Results showed that woody residues from chipboard factory and Debal Khozaie Agro-Industry Company had the potential to provide 4.33 fold the energy provided by gas in the chipboard factory, considering the efficiency equal to 60%. Using the residues of the chipboard factory individually, it is possible to replace all the consumed natural gas and electricity energy needed in the chipboard factory as well. According to the volume of available vinasse, the potential biogas production from this resource estimated to be 8.82 Gm^3.

Conclusion: Electricity, natural gas, and diesel fuel constitute the direct energy consumed in the production of chipboard, and natural gas with 78.52% has the highest share. Electricity accounts for 18.87% of direct energy consumption. The specific energy of chipboard production at the chipboard factory was 5.829 GJ m^{-3}. Only using the pith of chipboard factory can produce 2.85 times the total energy of natural gas consumed in chipboard factory. Investigation of the potential of biogas production from vinasse in Debal Khozaie agro-industry showed that it is possible to generate energy equivalent to 8824.3 thousand cubic meters of natural gas. Overall, the study showed that using the wastes of chipboard factory and sugarcane agro-industry has the potential to replace the entire natural gas and electricity consumption in chipboard factory.

Keywords: Bagasse, Heating value, Pith, Sugarcane, Vinasse

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۲۰۶-۱۹۳

مطالعه امکان تأمین انرژی تولید تخته نئوپان از باگاس با استفاده از ضایعات نیشکر (مطالعه موردی: کشت و صنعت دعبل خزاعی)

ابراهیم البوعطیوی[۱]، عباس عساکره[۲]*، حسن ذکی دیزجی[۳]، یعقوب منصوری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

در این مطالعه مصرف انرژی مستقیم در تولید تخته نئوپان از باگاس نیشکر و امکان جایگزینی آن با ضایعات کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی و صنایع جانبی آن بررسی گردید. انرژی مستقیم مصرفی به ازای هر مترمکعب نئوپان تولیدی ۵/۸۲۹ گیگاژول محاسبه شد که گاز طبیعی، برق و سوخت دیزل به‌ترتیب ۷۸/۵۲، ۱۸/۸۷ و ۲/۶۱ درصد آن را تشکیل می‌دهند. پیت و خرده چوب‌های حاصل از ضایعات کارخانه نئوپان‌سازی، برگ و پوشال نیشکر، باگاس مازاد و ویناس حاصل از تولید الکل از ملاس نیشکر به‌عنوان ضایعات جهت تولید انرژی در نظر گرفته شدند. خاکستر، رطوبت، ارزش حرارتی خالص (با استفاده از بمب کالری‌متر) و مقدار ضایعات خشبی و همچنین پتانسیل تولید زیست‌گاز از تخمیر بی‌هوازی ویناس اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج نشان داد با استفاده از پسماند خشبی کارخانه نئوپان‌سازی و کشت و صنعت دعبل خزاعی می‌توان ۴/۳۳ برابر کل انرژی گاز مصرفی در کارخانه نئوپان‌سازی انرژی حرارتی با بازده ۶۰ درصد تولید کرد. همچنین با استفاده از ضایعات کارخانه نئوپان‌سازی و باگاس، می‌توان کل گاز و برق مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی را جایگزین کرد. بررسی حجم ویناس و پتانسیل تولید زیست‌گاز از آن نشان داد پتانسیل تولید انرژی معادل ۸۸۲۴۳۱۹ مترمکعب گاز طبیعی در سال وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزش حرارتی، پیت، زیست‌گاز، نیشکر، ویناس

مقدمه

باگاس حاصل از عصاره‌گیری نیشکر در آسیاب کارخانه تولید شکر، کاربرد فراوانی در صنایع تبدیلی و جانبی دارد. از نظر ترکیب و ساختار، باگاس شبیه چوب و به رنگ زرد کاهی است. باگاس در صنایع کاغذسازی و نئوپان‌سازی خصوصیات مطلوبی از خود نشان داده است و می‌تواند جایگزین مناسبی برای چوب درختان در این صنایع باشد (Kim and Day, 2011). در استان خوزستان، حجم بسیار زیادی باگاس تولید می‌شود که بخش عمده آن با صرف هزینه و انرژی زیاد به زمین‌های اطراف کارخانه نیشکر دفع می‌شود و عمدتاً دچار آتش‌سوزی ناخواسته می‌شود که به دلیل سوختن ناقص، موجب انتشار گازهای سمی و آلودگی هوا می‌شود. میانگین تولید باگاس از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ برابر با ۲/۳۴ میلیون تن با رطوبت ۵۰ تا ۵۵ درصد در سال بوده است (Anonymous, 2018). در راستای استفاده از این حجم زیاد باگاس و سایر پسماند نیشکر، صنایع جانبی مانند تولید تخته نئوپان، MDF[۳]، کاغذسازی، خوراک دام، کمپوست، الکل و خمیرمایه ایجاد یا مطرح شده‌اند. همچنین در مواردی از باگاس به‌عنوان منبع انرژی در کوره نیروگاه‌های کشت و صنعت (شرکت کارون) استفاده شده است. احداث دو کارخانه تولید تخته نئوپان از باگاس نیشکر (نئوپان‌سازی شرکت کشت و صنعت کارون و نئوپان‌سازی شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی با نام آریانا) در استان خوزستان از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه می‌باشد. مجموع ظرفیت اسمی تولید تخته نئوپان این دو کارخانه برابر با ۱۴۰۰۰۰ مترمکعب در سال است. یکی از موارد مهم در صنایع تولیدی صفحات فشرده چوبی به‌خصوص از باگاس، مصرف پسماندهای کشاورزی و مواد چوبی کم‌ارزش و تبدیل این مواد زائد به منابع و محصولاتی با

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: A.asakereh@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v12i2.87600

3- Medium Density Fiberboard

ارزش افزوده (مانند منبع انرژی، تخته نئوپان و ملامینه) و به دنبال آن حفظ منابع طبیعی و محیطزیست است (Janghathaikul and Gheewala, 2005). در صنایع تولیدی تخته فشرده در استان خوزستان، به ازای تولید هر مترمکعب نئوپان، ۳/۱ تن باگاس با رطوبت ۵۴-۵۰ درصد مصرف می‌گردد که از آن، ۱/۲۴ تن پیت جدا می‌شود. در مرحله سمباده‌زنی نیز حدود ۱۸ درصد از وزن تخته‌های خام به‌صورت خرده چوب و غبار سمباده جدا می‌شود. به‌طور کلی حدود ۴۰ درصد از باگاس در قالب مغز، ضایعات برش و سمباده‌زنی تخته‌ها و غبار ناشی از مکنده‌ی الک‌ها و تصفیه هوای داخل سالن تولید، به‌عنوان مواد نامطلوب جدا می‌شود که با مصرف انرژی و هزینه زیادی از واحد تولیدی دورریز می‌شود. جهت دفع ضایعات و مواد دورریز، قسمت قابل‌توجهی از زمین‌های زراعی کشت و صنعت به آن اختصاص داده می‌شود. همچنین آتش‌سوزی ناخواسته این ضایعات (به دلیل گرمای زیاد هوا در استان خوزستان و تمایل به احتراق مواد انباشته شده) و به تبع آن ورود گازهای سمی به جو و ایجاد گرد و غبار زیاد در هوا، مشکلات دیداری و تنفسی شدیدی را برای کارکنان داخل و اطراف کارخانه تولید نئوپان و کشت و صنعت نیشکر به همراه دارد. در بسیاری از موارد، آلودگی هوای ناشی از سوختن ضایعات کشت و صنعت‌ها به شهرهای اطراف آن‌ها نیز می‌رسد.

میانگین تولید نیشکر در استان خوزستان از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ برابر با ۶/۸۸ میلیون تن بوده است که حدود ۳۵-۳۲ درصد وزنی آن را باگاس با رطوبت ۵۵-۵۰ درصد تشکیل می‌دهد (Anonymous, 2018). در سال ۱۳۹۶ تنها ۶/۹۰ درصد باگاس تولیدی (برابر با ۴۷۲۰۰۰ تن) جهت تولید نئوپان و تخته MDF و مقدار کمی (۲۱۰۰۰ تن) جهت تولید کود کمپوست مصرف شده است و بقیه دورریز شده که در نهایت اکثراً طعمه حریق شده‌اند. با توجه به حجم بسیار زیاد این ضایعات که عمدتاً مواد سلولزی هستند، پتانسیل زیادی برای تولید انرژی از آن‌ها می‌توان انتظار داشت (Hasanaki et al., 2019). از طرف دیگر کارخانه‌های تولید نئوپان و تخته فشرده استان خوزستان، خود مصرف‌کننده عمده انرژی هستند که توسط حامل‌های انرژی فسیلی و برق شبکه سراسری تأمین می‌شود.

در سال ۱۹۲۶ کارخانه‌های تولید شکر در جزایر موریس[1] و هاوایی اولین گام را برای تولید انرژی برق با استفاده از باگاس نیشکر را برداشتند که در آن زمان کارخانه‌های موجود در جزایر موریس و هاوایی به‌ترتیب ۲۶ و ۱۰ درصد از انرژی مورد نیاز خود را از سوزاندن باگاس در کوره‌های بخار تأمین می‌کردند (Birru et al., 2016). بررسی و مطالعات باگنت (Baguant et al., 1984) نشان داد که پتانسیل تولید برق از باگاس در منطقه موریس دو برابر مصرف کل برق آن منطقه است. همچنین او اعلام کرد با توجه به کاهش جهانی قیمت قند، صنایع قند با تولید برق از باگاس می‌توانند درآمد خالص خود را افزایش دهند. امروزه در کشورهای پیشرو در تولید نیشکر مانند برزیل (بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی نیشکر) کارخانه‌های تولید نیشکر با استفاده از باگاس و پوشال نیشکر (به‌صورت تولید هم‌زمان برق و گرما[2] جهت حرکت توربین‌های نیروگاه بخاری، حرکت آسیاب‌ها و فرآیند تولید، تصفیه، تبلور و غیره شکر) علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز خود، مازاد انرژی را به‌صورت انرژی الکتریکی به شبکه توزیع برق می‌فروشند (Birru et al., 2016; Rathnasiri et al., 2005). کشور برزیل در سال ۲۰۰۹ حدود سه درصد از نیاز الکتریکی خود را از کارخانه‌های شکر تأمین کرده است. در همان سال میزان تولید برق مبتنی بر باگاس در کارخانه‌های برزیل ۴/۶ گیگاوات ساعت بود که ۲۵ درصد از آن به شبکه برق سراسری تزریق گردید و ۷۵ درصد دیگر جهت مصارف کارخانه‌ها به‌کار گرفته شد. از طرف دیگر در کشور هند نیز میزان تولید انرژی در کارخانه‌های تولید شکر از نیشکر، ۲/۳ گیگاوات ساعت بود که ۱/۳ گیگاوات ساعت آن به شبکه‌ی ملی تحویل داده شده است (Pellegrini and Junior, 2011). در مطالعه‌ای که در کشورهای امریکای لاتین و آفریقا، انجام شد مشخص گردید با استفاده از ۱۴۳ میلیون هکتار قابل کشت و مناسب برای تولید نیشکر در این مناطق، امکان تولید سالانه ۱۱۴۷۰۰۰ گیگاژول انرژی در سال به‌صورت انرژی اولیه و ۹۰۰۰۰ گیگاژول به‌صورت انرژی نهایی (مایع و برق) وجود دارد (Moreira, 2006). مبوهوا و فوکودا (Mbohwa and Fukuda, 2003) بیان می‌کنند، سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های صنعت شکر از نیشکر یک گزینه بسیار خوب برای تولید برق در کشور زیمباوه است. ارزیابی، تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی آن‌ها نشان می‌دهد که توسعه تولید برق از باگاس از لحاظ فنی و اقتصادی در این کشور امکان‌پذیر است. در پژوهشی که در کشور تایلند انجام شد، بیان گردید که با استفاده از ۲۷۲ تن باگاس امکان تولید ۳۴۲ تن بخار با دمای ۴۲۰ درجه سلسیوس وجود دارد. در این مطالعه بیان شده است که باگاس می‌تواند به‌عنوان یک ماده خام دوستدار محیطزیست برای تولید برق استفاده شود و پتانسیل زیادی جهت جایگزینی به جای سایر منابع انرژی دارد (Janghathaikul and Gheewala, 2005). در خارج از کشور مطالعات متعدد دیگری در زمینه استفاده از باگاس و ضایعات نیشکر جهت تولید برق و انرژی انجام شده است که در جدول ۱ به نتایج برخی از آن‌ها به‌صورت مختصر اشاره شده است.

در داخل کشور نیز مطالعاتی در زمینه استفاده از باگاس و ضایعات نیشکر به عنوان منبع انرژی صورت گرفته است. جدیدیان و همکاران (Jadidyan et al., 2016) به ارزیابی تولید انرژی حرارتی و کربن فعال از پیت باگاس پرداختند. در این مطالعه بسیاری از خصوصیات پیت باگاس اندازه‌گیری شد. حسنکی (Hasanaki, 2018) به بررسی استفاده از باگاس نیشکر در کشت و صنعت کارون جهت تأمین انرژی کارخانه تولید شکر پرداخت. نتایج ایشان نشان داد، ضایعات نیشکر می‌تواند در حدود ۱۸ درصد از حرارت مورد نیاز کارخانه نیشکر را تأمین کند.

1- Mauritius

2- Combined Heat and Power (CHP)

جدول ۱– مطالعات مشابه در زمینه استفاده از ضایعات نیشکر جهت تولید انرژی

Table 1- Similar studies on the use of sugarcane waste for energy production

کشور یا منطقه مورد مطالعه **Country or area of study**	نتایج **Results**	منبع **Reference**
افریقای جنوبی South Africa	پتانسیل تولید یک گیگاوات ساعت برق از باگاس در سال وجود دارد. There is the potential to generate one GWh/year of electricity from bagasse.	Mashoko *et al.*, 2013
اندونزی Indonesia	سالانه پتانسیل تولید ۱۶۰ گیگاوات ساعت برق از باگاس همراه با کاهش انتشار ۲۴۰۷۷۴ تن گاز دی‌اکسید کربن وجود دارد. Annually, there is a potential to generate 160 GWh of electricity from bagasse with a reduction of 240,774 tons of CO_2 emissions.	Restutia and Michaelowa, 2007
نیجریه و افریقای جنوبی Nigeria and South Africa	گسترش استفاده از باگاس به‌عنوان منبع تولید انرژی می‌تواند در حل بحران کمبود انرژی در این دو کشور و خطرات و مشکلات آلودگی ناشی از باگاس کمک زیادی کند. همچنین تولید انرژی از باگاس موجب افزایش اشتغال در آن‌ها خواهد شد. Expanding the use of bagasse as an energy source can help a lot in solving the energy shortage and risks and pollution problems resulting from the bagasse in these two countries. Alaso, energy production from bagasse will increase employment in these countries.	Mohlala *et al.*, 2016
جزیره موریس Mauritius Island	انرژی برق حاصل از سوختن باگاس در زمینه انتشار آلاینده‌های هوا، ایجاد باران‌های اسیدی و کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بهتر از تولید برق از زغال‌سنگ می‌باشد. Electricity generated by burning bagasse is better than electricity from coal in terms of air pollution, acid rain and non-renewable energy consumption.	Ramjeawon, 2008
استرالیا Australia	استفاده از باگاس جهت تولید انرژی در کارخانه‌های نیشکر نسبت به سایر منابع انرژی، هزینه کمتری دارد. Using bagasse to generate energy in sugarcane factories is less expensive than other energy sources.	Evans *et al.*, 2010
برزیل Brazil	سوزاندن باگاس جهت تولید برق نسبت به همه گزینه‌های استفاده از باگاس، بیشترین سود را از منظر سرمایه‌گذاران دارد. Burning bagasse to generate electricity is the most profitable between all options of bagasse usage.	Dantas *et al.*, 2013
پاکستان Pakistan	تولید برق از باگاس در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است. پتانسیل سالانه تولید برق از باگاس ۱۵۹۸ تا ۲۸۹۴ گیگاوات ساعت بیان شده است. Power generation from bagasse has increased dramatically in recent years. The annual power generation potential from bagasse is expressed as 1598 to 2894 GWh.	Arshad and Ahmed, 2016
برزیل Brazil	سالانه پتانسیل تولید ۲۰۲۸۰۰ گیگاوات ساعت از ضایعات خشبی نیشکر به‌صورت پایدار وجود دارد. The sustainable power generation potential from sugarcane waste is 202,800 GWh per year	Flausinio *et al.*, 2014
برزیل Brazil	تولید برق از بقایای نیشکر سودآوری بیشتری نسبت به تولید اتانول از ضایعات نیشکر دارد. Generating electricity from sugarcane waste is more profitable than producing ethanol from it.	Seabra and Macedo, 2007

سلیمانی و همکاران (Soleymani *et al.*, 2018) در مطالعه‌ای به ارزیابی چرخه حیات اتانول تولیدی از ملاس نیشکر در ایران پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید اتانول ۶۰ درصد کمتر از انتشار آلاینده‌های مربوط به سوخت دیزل می‌باشد. همچنین آن‌ها بیان کردند که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق با استفاده از سوزاندن مستقیم باگاس در کوره‌ها نسبت به برق شبکه سراسری، ۷۰ درصد کمتر است. در استان‌های شمالی ایران کارخانه‌های نئوپان‌سازی متعددی از کوره‌های غبارسوز جهت تأمین انرژی حرارتی کارخانه استفاده می‌کنند. این کوره‌ها در ابتدا به‌منظور از بین بردن پسماند کارخانه‌ها و با اعمال فشار سازمان حفاظت محیط‌زیست و جنگلداری احداث گردیده بودند ولی پس از اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها و گران شدن قیمت سوخت فسیلی در ایران، تمایل کارخانه‌داران در استفاده از این گونه کوره‌ها برای تأمین انرژی فزونی یافت (Hasanaki, 2018). هارونی و همکاران (Haroni *et al.*, 2018) و اندکاییی‌زاده و همکاران (Andekaizade *et al.*, 2018) انرژی مصرفی تولید نیشکر در کشت و صنعت‌های خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعات مقدار کل انرژی مصرفی در تولید نیشکر و سهم هر یک از نهاده‌ها در آن محاسبه گردید.

با وجود راه‌اندازی برخی صنایع جانبی مصرف‌کننده باگاس، سالانه حجم زیادی از باگاس و ضایعات نیشکر بدون استفاده می‌ماند که به نظر می‌رسد با استفاده از آن می‌توان بخشی از انرژی کارخانه‌های تولید شکر و صنایع جانبی آن را تأمین کرد. در این مطالعه پتانسیل و امکان استفاده از باگاس اضافی و ضایعات تولید

تخته نئوپان از باگاس جهت تأمین انـرژی کارخانـه نئوپـان‌سـازی در کشت و صنعت دعبل خزاعی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

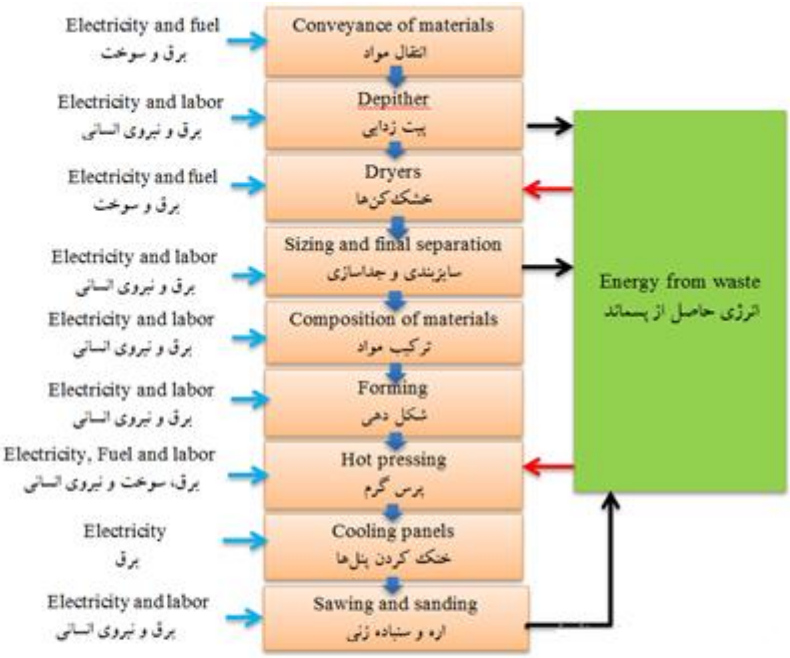
منطقه مورد مطالعه

شرکت کشت و صنعت دعبـل خزاعـی در ۲۰ کیلـومتری جنـوب شهر اهواز و در فاصله بین رودخانه کارون و جاده اهواز- آبـادان قـرار دارد. این شرکت در طول جغرافیایی ۴۸ درجـه و ۳۵ دقیقـه و عـرض ۳۱ درجه و ۸ دقیقـه قـرار دارد و بـا مسـاحتی حـدود ۱۲۲۰۰ هکتـار قابلیت تولید یک میلیون تن نیشکر در هر سـال زراعـی را دارد. ایـن کشت و صنعت دارای کارخانه تولید شکر با ظرفیـت اسـمی ۱۰۰۰۰۰ تن شکر خام و ۱۷۵۰۰۰ تن شکر تصفیه شده در سال اسـت. صـنایع جـانبی مسـتقر در ایـن کشـت و صـنعت عبارتنـد از: کارخانـه تولیـد خمیرمایه و الکل (شرکت خمیرمایه و الکل رازی) با ظرفیت اسمی ۳۳ میلیون لیتر در سال، کارخانه تولیدی نئوپان با ظرفیت اسمی ۱۱۰۰۰۰ مترمکعـب در سـال (شـرکت آریانـا)، کارخانـه خـوراک دام (در حـال تکمیل) با ظرفیت اسمی ۱۰۰۰۰۰ تن در سال و کارگاه تولید زغال از باگاس با استفاده از روش پیرولیز (هنوز افتتاح نشـده اسـت). شـرکت تولیدی تخته فشرده آریانا (بزرگ‌ترین کارخانه نئوپان‌سازی کشور)، به ظرفیت اسمی چهارصد مترمکعـب در روز در زمینـی بـه مسـاحت ۱۰ هکتار در مجاورت کارخانه تولید شکر شرکت کشت و صـنعت دعبـل خزاعی قرار دارد.

اطلاعات و داده‌هـای مـورد نیـاز از آمـار موجـود در دفـاتر ثبـت شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر (بـه‌ویـژه کشـت و صـنعت دعبـل خزاعی)، انجمن صـنفی کارخانـه‌هـای قنـد و شـکر ایـران، مصـاحبه حضـوری بـا کارشناسـان و مهندسـین کشـت و صـنعت و کارخانـه نئوپان‌سازی، نمونه‌برداری، اندازه‌گیـری و مطالعـات کتابخانـه (ماننـد آمارنامه‌ها ترازنامه‌ها و غیره) جمع‌آوری شد.

محاسبه انرژی مصرفی مستقیم و ضایعات تولیدی

مراحل مختلف تولید نئوپان از باگاس نیشکر و انرژی‌های مستقیم مصرفی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۱ مشاهده می‌گردد، انـرژی‌هـای مسـتقیم مصـرفی در تولیـد نئوپـان از باگاس شامل انرژی سـوخت دیـزل (گازوئیـل)، بـرق، گـاز طبیعـی و نیروی انسانی است. انرژی برق در الکتروموتورهـا بـرای چرخانـدن و راه‌انــدازی ادوات و تجهیــزات مختلــف ماننــد ادوات پیــت‌زدایــی، آسیاب‌های خردکننده، نقاله‌ها، مکنده‌ها، آسیاب‌های ثانویـه، الـک‌هـا، مخلوط‌کن‌ها، پرس غلتکی، الکتروموتور پمپ هیدرولیکی، بالابر چنـد طبقه‌ای پرس، انواع فن و پروانـه‌هـا، دسـتگاه سـمباده‌زنـی، سیسـتم تهویه، روشنایی و غیره مصرف می‌شود. سوخت دیزل در ماشین‌هـای حمل و نقل جهت جابه‌جایی محصول تولیدی (تخته‌های نئوپان)، دفع ضایعات به خارج از کارخانـه و جابـه‌جـایی فیبـر در کارخانـه اسـتفاده می‌شود. گاز طبیعی بیشتر جهت تولید گرما در خشک‌کن‌هـا و بخـش کمی جهت تـأمین گرمـا در مرحلـه پـرس گـرم و ملامینـه مصـرف می‌شود.



شکل ۱- مراحل تولید نئوپان، انرژی مصرفی و پسماند تولیدی

Fig. 1. Processes of chipboard production, energy consumption and waste generation

مقادیر ورودی و خروجی مواد (باگاس، پیت و غیره) و انرژی‌های مصرفی (برق، سوخت دیزل، گاز طبیعی و غیره) در بازه‌های زمانی معین از طریق کنتور، باسکول و فرم سوخت‌گیری ماشین‌ها محاسبه گردید. انرژی الکتریکی در مراحلی که کنتور وجود دارد، برابر با مقداری است که کنتور نشان می‌دهد و در مکان‌ها و مراحلی که کنتور کلی وجود ندارد از طریق توان الکتروموتورها یا دستگاه‌های برقی، ولتاژ و شدت جریان آن ها و ضریب توان، مقدار برق مصرفی محاسبه شد. با اندازه‌گیری محصول تولید شده و برق مصرفی در بازه‌ی زمانی مشخص، مقدار برق مصرفی جهت تولید یک مترمکعب محصول از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$Ee=(W\times E)/M \quad (۱)$$

که در آن، Ee انرژی برق مصرفی جهت تولید هر مترمکعب نئوپان بر حسب مگاژول، W میزان مصرف انرژی الکتریکی در واحد زمان بر حسب کیلووات ساعت، M میزان تولید محصول در واحد زمان‌بر حسب مترمکعب و E انرژی معادل هر واحد کیلووات ساعت بر حسب مگاژول است. معادل هر کیلووات ساعت برق برابر است با ۳/۶ مگاژول است (Kitani, 1999).

حجم گاز طبیعی مصرفی با استفاده از کنتور گاز ورودی اندازه‌گیری شد و با ضرب کردن مقدار حجم آن در ارزش حرارتی گاز طبیعی، مقدار انرژی سوخت مصرفی جهت تأمین گرما محاسبه گردید. ارزش گرمایی هر مترمکعب گاز طبیعی در ایران برابر با ۳۷/۲۶ مگاژول است (Anonymous, 2016). انرژی سوخت دیزل نیز از حاصل‌ضرب مقدار مصرف سوخت در همارز و محتوای انرژی آن که ۳۸/۷ مگاژول بر لیتر است، به‌دست آمد (Kitani, 1999).

ضایعات عمده کارخانه تولید نئوپان شامل پیت باگاس و ضایعات برش و سمباده‌زنی تخته نئوپان‌های تولیدی است. پیت در مرحله جداسازی مغز و سایزبندی از الیاف مناسب جدا می‌شود. همچنین در کارخانه تولید شکر و کشت و صنعت دعبل خزاعی، حجم زیادی باگاس و پوشال مازاد تولید می‌شود. بنابراین پتانسیل این ضایعات به‌عنوان منابع خشبی جهت تأمین انرژی کارخانه نئوپان‌سازی بررسی شدند.

از محصولات جانبی مهم کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان، ملاس است که در تولید الکل (اتانول)، خمیرمایه، کاغذسازی و موارد دیگر استفاده می‌شود. ملاس پسماند صنایع تولید شکر در مرحله پخت و بلورسازی شیره نیشکر یا چغندرقند می‌باشد. شرکت خمیرمایه و الکل رازی در کشت و صنعت دعبل خزاعی قرار گرفته است و علاوه بر کشت و صنعت دعبل خزاعی، ملاس از سایر کشت و صنعت‌های نیشکر در استان خوزستان نیز به این واحد منتقل می‌شود.

ویناس[1] پسماند مایعی است که از فرآیند تولید الکل از ملاس حاصل می‌شود. این ماده دارای COD[2] و BOD[3] بالایی بوده و در صورت رهاسازی باعث آلودگی آب و خاک می‌گردد (Birru *et al*., 2016). اغلب از ویناس به‌عنوان کود در کشاورزی استفاده می‌شود ولی به دلیل وجود مواد آلی فراوان در ویناس و تخمیر این مواد در خاک، مشکلات زیست‌محیطی بسیاری در خاک و آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌شود؛ بنابراین به‌جای استفاده مستقیم ویناس به‌عنوان کود باید راه‌حل منطقی‌تری اندیشیده شود. بهترین و آسان‌ترین روش برای کنترل آلودگی ناشی از ویناس هضم بی‌هوازی آن است که منجر به تولید زیست‌گاز نیز می‌شود و باقی‌مانده و پسماند آن بهداشتی بوده و به‌عنوان کود قابل استفاده است (Pourasad *et al*., 2015). در کارخانه الکل و خمیرمایه رازی وابسته به کشت و صنعت دعبل خزاعی به ازای تولید هر لیتر الکل از ملاس نیشکر ۸ الی ۱۰ لیتر ویناس تولید می‌شود. برنامه تولیدی سالانه شرکت خمیرمایه و الکل رازی، تولید حدود ۳۳ میلیون لیتر الکل و ۸۵۰۰ تن خمیرمایه از ملاس است. در این مطالعه پتانسیل تولید زیست‌گاز از ویناس تولیدی در کارخانه الکل‌سازی کشت و صنعت دعبل خزاعی جهت تولید انرژی محاسبه گردید.

گزینه‌های زیادی برای تبدیل زیست‌توده به انرژی گرمایی و برق وجود دارد که دو فناوری رایج آن شامل سوزاندن مستقیم[4] و تبدیل کردن به گاز[5] است (Mondal and Denich, 2010). سوزاندن مستقیم شامل اکسیداسیون زیست‌توده با هوای اضافی برای تولید گرما، توان مکانیکی و برق است. بازده خالص تبدیل آن بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است. تبدیل به گاز شامل تبدیل زیست‌توده به گاز قابل سوختن است. گاز به‌دست آمده به‌عنوان سوخت در فرآیند نیروگاه تولید توان، استفاده می‌گردد. بازده تبدیل در این روش اگر به‌صورت تلفیقی با چرخه سیکل بخار- گاز به‌کار رود، می‌تواند به ۵۰ درصد برسد (Caputo *et al*., 2005). در حال حاضر روش تجاری و کاربردی برای مواد سلولوزی مانند پیت و باگاس که خاصیت خشبی دارند، سوزاندن مستقیم با بازده متداول ۳۰ درصد برای تولید برق و بازده ۶۰ درصد برای تولید حرارت مستقیم در کوره‌ها است (McKendry, 2002; Caputo *et al*., 2005; Karaj *et al*., 2009; Demirbas *et al*., 2009).

پتانسیل تولید انرژی از پسماندهای نیشکر و نئوپان‌سازی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

1- Vinasse
2- Chemical Oxygen Demand
3- Biochemical Oxygen Demand
4- Direct Combustion
5- Gasification

$$E = \sum_{i=1}^{n} Q_i H_i \eta_i \quad (۲)$$

که در آن Q_i، مقدار پسماند در دسترس نوع i، H_i ارزش گرمایی خالص پسماند i و η، ضریب تبدیل پسماند به انرژی می‌باشد.

اندازه‌گیری رطوبت

عامل مهم که بر ارزش گرمایی خالص سوخت اثر می‌گذارد، محتوای رطوبتی است. افزایش محتوای رطوبتی، ارزش گرمایی خالص سوخت را کاهش می‌دهد. به‌طور میانگین افزایش ۱۰ درصد رطوبت، ارزش گرمایی خالص یا پایین (LHV[1]) سوخت را ۱۱ درصد کاهش می‌دهد (Fowler *et al*., 2009). بنابراین رطوبت باگاس (باگاس تازه، پس از ۲۴ ساعت دپو باگاس، بعد از پنج، ۳۰ و ۴۵ روز دپو باگاس)، پیت خشک شده در محوطه روباز، پوشال خشک شده در فضای باز، ضایعات حاصل از برش و سمباده‌زنی بر اساس روش ASTM D2974 در آزمایشگاه کارخانه شکر کشت و صنعت دعبل خزاعی تعیین شد. فواصل بین نمونه‌برداری از باگاس بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط کشت و صنعت نیشکر و پیشنهاد کارشناسان آن جهت تعیین روند کلی کاهش رطوبت باگاس انتخاب شد. اندازه‌گیری رطوبت سه بار تکرار و میانگین آن‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری خاکستر

مقداری از نمونه زیست‌توده را در بوته چینی به مدت ۳ ساعت در کوره ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس خاکستر به‌جای مانده را داخل دسیکاتور گذاشته تا به دمای محیط برسد. درصد خاکستر زیست‌توده از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (Tang *et al*., 2013).

$$\text{درصد خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر (گرم)}}{\text{وزن زیست‌توده (گرم)}} \times ۱۰۰ \quad (۳)$$

محاسبه ارزش حرارتی

جهت تعیین ارزش حرارتی از بمب کالری‌متر سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان با مدل PARR ۱۲۶۶ استفاده گردید. برای این منظور نمونه‌گیری در دو تکرار به‌صورت تصادفی از باگاس، پوشال، پیت، ضایعات برش و سمباده‌زنی موجود در کشت و صنعت دعبل خزاعی و شرکت نئوپان‌سازی انجام شد. جهت کالیبراسیون بمب کالری‌متر از قرص‌های اسید بنزوئیک استاندارد مشخص استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد رطوبت پسماند

باگاس حاصل از عصاره‌گیری در کارخانه حدود ۵۰ تا ۵۵ درصد رطوبت دارد که با توجه به وضعیت و شرایط جوی، رطوبت خود را به‌تدریج از دست می‌دهد. کاهش رطوبت تأثیر مثبت بر انرژی دریافتی از باگاس به‌عنوان منبع انرژی جهت سوزاندن و تولید گرما دارد. جدول ۲ درصد رطوبت باگاس کشت و صنعت دعبل خزاعی در زمان‌های مختلف پس از دپو شدن را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری نشان داد که میانگین رطوبت باگاس تازه در کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر با ۵۱/۳ درصد است (۲۰ اسفندماه ۱۳۹۷) که با توجه به شرایط جوی، محتوای رطوبتی پس از ۴۵ روز به ۵/۳۲ درصد رسید. این موضوع نشان می‌دهد که بدون نیاز به سیستم خشک‌کننده خاصی، رطوبت باگاس به اندازه کافی و مناسب جهت سوزاندن مستقیم و تولید انرژی، کاهش می‌یابد. با گذشت پنج روز حدود ۵۰ درصد از رطوبت باگاس کاهش یافت و از ۵۱/۳ درصد به ۲۸/۹۸ درصد رسید. رطوبت باگاس در دو روز اول دپو شدن به مقدار ۱۶/۱۷ درصد کاهش یافت. روشن است که مقدار کاهش رطوبت به شدت وابسته به شرایط جوی و آب و هوایی است ولی با توجه به طولانی بودن فصل گرم (عمدتاً بدون بارش) در استان خوزستان، می‌توان نتیجه گرفت که با مدیریت صحیح، امکان خشک کردن باگاس به‌صورت طبیعی وجود دارد و برای استفاده شدن به‌عنوان منبع انرژی نیاز به سیستم خشک‌کن نیست.

درصد خاکستر

جدول ۳ درصد خاکستر و ارزش گرمایی خالص (ارزش گرمایی پایین) باگاس، پیت، پوشال و خرده چوب‌های سمباده و برش (با استفاده از بمب کالری‌متر) را نشان می‌دهد. پیت با داشتن ۲/۰۳۷ درصد، بیشترین مقدار خاکستر را بین نمونه‌های مورد بررسی دارد. مقدار خاکستر در طراحی کوره و سیستم تخلیه خاکستر بسیار مهم است. ارزش گرمایی پایین باگاس خشک (۵/۱ درصد رطوبت) برابر با ۱۷/۹۵ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمد در حالی که با رطوبت حدود ۲۵ درصد برابر با ۱۵/۰۲ مگاژول بود. سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2008) ارزش گرمایی باگاس خشک در ایالت پنجاب[2] کشور هند را ۲۰ مگاژول بر کیلوگرم بیان کردند. هالدر و همکاران (Halder *et al*., 2014) در مطالعه‌ای که در کشور بنگلادش انجام دادند، ارزش گرمایی باگاس را ۱۹/۵۴ مگاژول بر کیلوگرم بیان کردند. ارزش گرمایی خالص نمونه پیت حاصل از ضایعات نئوپان‌سازی شرکت آریانا برابر با ۱۶/۲۳ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمد. در واقع نمونه پیت شامل مخلوطی از اپیدرم و الیافی است که همراه پیت جدا شده‌اند. حدود ۴۵ درصد باگاس در شرکت نئوپان‌سازی به‌عنوان پیت دور ریخته می‌شود، در حالی که پیت ۳۰ درصد باگاس را تشکیل می‌دهد. از سوی دیگر جداسازی پیت از الیاف مناسب جهت تولید تخته نئوپان به‌صورت کامل انجام نمی‌گیرد و دو تا چهار درصد آن همراه الیاف

1- Low Heating Value

2- Punjab

مناسب باقی می‌ماند که در تولید تخته نئوپان به‌کار می‌رود. هر اندازه مقدار پیت باقی مانده در الیاف بیشتر باشد از کیفیت تخته نئوپان تولیدی کاسته می‌شود. این امر نشان می‌دهد که در مرحله پیت‌زدایی، مقدار زیادی الیاف مناسب و اپیدرم همراه پیت جدا می‌شود. در واقع بیش از یک سوم نمونه پیت، دارای اپیدرم و الیاف است. جدیدیان و همکاران (Jadidyan *et al*., 2016) ارزش گرمایی خالص پیت را ۱۰/۳ مگاژول بر کیلوگرم اندازه‌گیری کردند. در مطالعه کنونی ارزش گرمایی خالص خرده چوب سمباده و برش تخته نئوپان با استفاده از بمب کالری‌متر برابر با ۱۶/۴۳ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- درصد رطوبت باگاس و پسماند نئوپان‌سازی

Table 2- Moisture content of Bagasse and Chipboard waste (%)

خرده چوب Wood chips	پوشال Straw	پیت Pith	باگاس Bagasse: پس از ۴۵ روز After 45 days	پس از ۳۰ روز After 30 days	بعد از ۵ روز After 5 days	بعد از ۴۸ ساعت After 48 hours	تازه Fresh
3.1	3.7	5.5	5.32	12.86	25.98	35.13	51.30

جدول ۳- درصد خاکستر و ارزش حرارتی پایین

Table 3- Ash percentage and lower heating value

	خرده چوب Wood chips	پوشال Straw	پیت Pith	باگاس با رطوبت ٪۵/۱ Bagasse with 5.1% moisture content	باگاس با رطوبت ٪۲۵ Bagasse with 25% moisture content
درصد خاکستر Ash (%)	1.53	1.908	2.037	1.652	1.652
ارزش گرمایی Lower heating value (MJ kg^{-1})	16.43	16.49	16.23	17.95	15.02

انرژی مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی

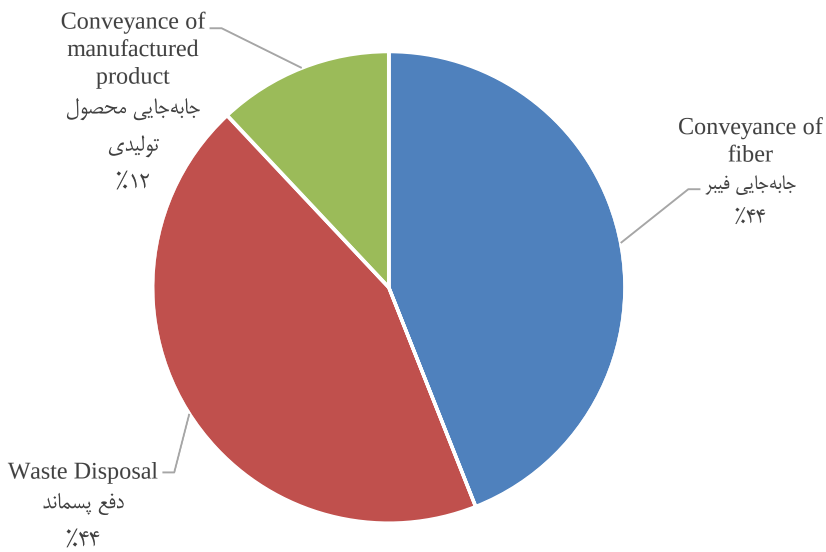
مقادیر حامل‌های انرژی مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی آریانا که شامل انرژی برق، گاز طبیعی و سوخت دیزل می‌باشند، در جدول ۴ نشان داده شده است. مصرف گاز طبیعی در سال ۱۳۹۶ برابر با ۶۴۴۸۴۲۰ مترمکعب بوده است که خشک‌کن‌ها با ۹۹/۴۸ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان می‌دهد که جهت صرفه‌جویی در مصرف گاز باید بر خشک‌کن‌ها تمرکز داشت و افزایش بازدهی و یا کاهش تلفات انرژی در این بخش می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش مصرف گاز و حتی کل انرژی مصرفی در نئوپان‌سازی داشته باشد. گاز مصرفی ۷۸/۵۲ درصد کل انرژی مستقیم مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی را تشکیل می‌دهد. برق مصرفی کارخانه در سال ۱۳۹۶ برابر با ۱۶/۰۴ گیگاوات ساعت بود که ۱۸/۸۷ درصد کل انرژی مستقیم مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی را تشکیل می‌دهد. مصرف‌کننده‌های عمده برق در کارخانه نئوپان‌سازی شامل دیپیتر، آسیاب‌های خردکننده جهت پیت‌زدایی و خشک‌کننده نهایی هستند. در این دستگاه‌ها از الکتروموتورهای بزرگ جهت چرخاندن آسیاب‌ها و مکنده‌ها استفاده می‌شود. کل مصرف انرژی مستقیم در کارخانه نئوپان‌سازی شرکت آریانا در سال ۱۳۹۶ برابر با ۳۰۵۹۸۱ گیگاژول بوده است.

مصرف سوخت دیزل ماشین‌ها در سال ۱۳۹۶ برابر با ۲۰۶/۱ مترمکعب بود. شکل ۲ نشان می‌دهد، بخش قابل‌توجهی از مصرف سوخت دیزل (۴۴ درصد مصرف کل سوخت دیزل) برای دور ریختن و انتقال پسماند به خارج از کارخانه مصرف می‌شود که در صورت مصرف پسماند به‌عنوان منبع انرژی در داخل کارخانه می‌تواند صرفه‌جویی شود. جابه‌جایی فیبر در کارخانه ۴۴ درصد مصرف سوخت ماشین‌ها را تشکیل می‌دهد.

حجم تولید تخته نئوپان شرکت آریانا در سال ۱۳۹۶ برابر با ۵۲۴۹۱ مترمکعب بوده است. با توجه به مقدار تولید، مصرف انرژی ویژه در کارخانه نئوپان‌سازی آریانا محاسبه و در جدول ۴ نشان داده شده است. انرژی ویژه تولید تخته نئوپان در کارخانه آریانا برابر با ۵/۸۲۹ گیگاژول به ازای هر مترمکعب تخته به‌دست آمد که گاز مصرفی بیشترین سهم را دارد. مصرف ویژه گاز جهت تولید تخته نئوپان برابر با ۴/۵۷۷ گیگاژول بر مترمکعب محاسبه گردید. انرژی مصرفی برق و سوخت دیزل به‌ترتیب ۱/۱ و ۰/۱۵۲ گیگاژول بر مترمکعب به‌دست آمد.

جدول ٤– حامل‌های انرژی مستقیم کارخانه نئوپان‌سازی آریانا در سال ۱۳۹۶
Table 4- Direct energy carriers at Ariana chipboard Factory in 2017

نوع انرژی Energy type		مقدار مصرف Input	انرژی مصرفی Input energy		انرژی ویژه Energy intensity (GJ m^{-3})
			GJ	درصد (%)	
انرژی الکتریکی Electricity		16038 MWh	57736.8	18.87	1.10
گاز طبیعی natural gas	خشک‌کن Dryer	6414658 m^3	239010.2	78.11	4.55
	پرس گرم Hot presser	24417 m^3	909.8	0.30	0.017
	ملامینه Melamine	9345 m^3	348.2	0.11	0.006
سوخت دیزل Diesel fuel		206100 lit	7976.1	2.61	0.152
مجموع Sum			305981	100	5.83



شکل ۲– سهم عملیات‌های مختلف در مصرف سوخت دیزل در کارخانه نئوپان‌سازی آریانا
Fig. 2. Contribution of different operations to diesel fuel Consumption at Ariana factory

پتانسیل تولید انرژی از ضایعات خشبی نیشکر

مواد خشبی مورد بررسـی جهـت پتانسـیل‌سـنجی تولیـد انـرژی (به‌صورت سوختن مستقیم) شامل باگاس، پیت، پوشـال و سـر نـی و خرده چوب‌های حاصل از سمباده و برش است. مقدار باگاس تولیدی، مصرف شده در تولید تخته نئوپان و کود کمپوسـت و مـازاد کشـت و صنعت دعبل خزاعی در جدول ۵ نشان داده شده است. در سال ۱۳۹۶ حدود ۲۲۰۰۰۰ تن باگاس (باگاس تازه) تولید شده است که ۱۷۶۰۰۰ تن آن به کارخانه نئوپان‌سازی آریانا تحویل داده شده و حدود ۳۸۰۰۰ تن باگاس مازاد بدون استفاده مانده است. بخشی هم جهت تولید کود کمپوست و مصارف دیگر استفاده شده است.

جدول ۵– وضعیت تولید و مصرف باگاس کشت و صنعت دعبل خزاعی در سال ۱۳۹۶ (هزار تن)
Table 5- Production and consumption of bagasse in Debal Khozaie agro-industry in 2017 (thousand tons)

باگاس تولیدی Bagasse production	باگاس تحویلی به نئوپان‌سازی Bagasse delivered to the chipboard factory	باگاس مازاد Surplus bagasse	سایر Others
220	176	38	6

در جدول ۶ مقادیر پسماندهای مختلف قابل استفاده جهت تولید انرژی مستقیم در فرآیند نئوپان‌سازی نشان داده شده است. از حدود ۱۷۶۰۰۰ تن باگاس تحویلی به شرکت آریانا، ۷۰۴۰۰ تن پیت از آن جدا شده است (پیت خشک) و با صرف هزینه و انرژی به خارج از کارخانه دفع شده است. همچنین در حدود ۹۵۰۰ تن ضایعات به‌صورت خرده چوب برش و سمباده در سال ۱۳۹۶ از کارخانه آریانا دفع شده است که می‌تواند به‌عنوان سوخت (سوختن مستقیم) جهت تولید گرما استفاده شود.

به دلیل فرسودگی ماشین‌های برداشت (هاروستر نیشکر[1]) و گرمی هوا، برداشت نیشکر بیشتر به‌صورت سوخته (سوزاندن مزارع قبل از عملیات برداشت) انجام می‌شود. در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ از ۸۸۵۰ هکتار مساحت برداشت شده (کل مساحت برداشت شده)، ۲۲۶۵ هکتار به‌صورت سبز برداشت شده است (۳۰/۱۱ درصد). در کشت و صنعت دعبل خزاعی، بخش کمی از پوشال مزارعی که به‌صورت سبز برداشت می‌شود، جمع‌آوری می‌شود که به مصارف مختلفی مانند خوراک دام می‌رسد. بخشی از پوشال حاصل از برداشت سبز در مزرعه سوزانده می‌شود و بخشی در مزارع آیش با خاک مخلوط می‌شود. با این وجود، مقداری از پوشال جمع‌آوری شده بدون استفاده می‌ماند و مشکلاتی را ایجاد می‌کند. حدود ۴۰۰۰ تن پوشال در سال ۱۳۹۶ جمع‌آوری شد که می‌تواند به‌عنوان منبع جهت سوختن و تولید گرما استفاده شود.

با در نظر گرفتن محتوای انرژی حرارتی محاسبه شده با بمب کالری‌متر مقدار انرژی قابل استحصال از ضایعات با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید. همان‌طور که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، می‌توان از ۱۲۱۸۴۸ تن پسماند جامد کارخانه نئوپان‌سازی و کشت و صنعت دعبل خزاعی با استفاده از سامانه احتراق مستقیم جهت تولید حرارت حدود ۱۰۳۹۳۷۸ گیگاژول انرژی حرارتی تولید کرد. این مقدار انرژی ۴/۳۳ برابر کل انرژی گاز مصرفی در کارخانه نئوپان‌سازی (با فرض بازده ۱۰۰ درصد کوره برای گاز طبیعی) است. همچنین تنها با استفاده از پیت جدا شده از باگاس در کارخانه نئوپان‌سازی امکان تولید ۲/۸۵ برابر کل مصرف گاز کارخانه نئوپان‌سازی وجود دارد. حسنکی و همکاران (Hasanaki *et al*., 2019) در مطالعه‌ای که در کشت و صنعت کارون انجام دادند، بیان کردند که کوره‌های بخار موجود در کشت و صنعت علاوه بر گازسوز بودن، قابلیت سوزاندن باگاس و زیست‌توده را نیز دارند. از این رو، نیازی به خرید کوره بخار جدید نیست. آن‌ها بیان کردند که در کشت و صنعت کارون یک کوره با تغییرات جزئی، باگاس‌سوز شده است و تنها سرمایه‌گذاری در بخش انجام اصلاحات کوره و خرید تجهیزات جانبی آن مانند پمپ تخلیه خاکستر، تجهیزات ابزار دقیق و کنترل، پروانه‌های مکنده و دمنده صورت گرفته است. از نقاله‌هایی که برای انتقال باگاس به خارج از کارخانه استفاده می‌شد، جهت انتقال مواد به کوره استفاده شده است. آن‌ها بیان کردند که شرکت کارون دوره برگشت سرمایه کوره باگاس‌سوز شده را حدود هشت ماه اعلام کرده است، در حالی که بر اساس محاسبات آن‌ها حداکثر دوره برگشت سرمایه باگاس‌سوز کردن کوره‌ها با در نظر گرفتن همه هزینه‌های آشکار و پنهان برابر با ۱/۵ سال به‌دست آمد. با توجه به نتایج اقتصادی مطلوب باگاس‌سوز کردن کوره اول، برنامه باگاس‌سوز کردن کوره دوم کارخانه در دستور کار بهره‌برداری قرار گرفته است. در مطالعاتی که در کشورهای استرالیا (Evans *et al*., 2010) و برزیل (Dantas *et al*., 2013) انجام شده است، بیان گردید که سوزاندن باگاس در کوره‌های نیروگاه کارخانه‌های نیشکر جهت تولید انرژی، نسبت به سایر حامل‌های انرژی موجود، کمترین هزینه و بیشترین سودآوری را دارد. همچنین نتایج مطالعات در کشور اندونزی (Restutia and Michaelowa, 2007)، جزیره موریس (Ramjeawon, 2008) و افریقای جنوبی (Mohlala *et al*., 2016) نشان داد که سوزاندن باگاس در کوره‌های بخار به‌منظور تولید انرژی موجب کاهش آلاینده‌های هوا و هزینه‌های ناشی از آن می‌شود.

کوره‌ها و دیگ‌های بخار مورد استفاده در کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان شبیه به هم می‌باشند. همچنین در کارخانه نئوپان‌سازی تجهیزات و نقاله‌هایی برای جابه‌جایی و انتقال پیت به بیرون از محوطه کارخانه وجود دارند که می‌توانند جهت انتقال پیت به کوره‌ها مورد استفاده قرار گیرند. کشت و صنعت دعبل خزاعی مانند سایر کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان جهت تأمین انرژی گرمایی و برق خود دارای کوره‌های بخار و نیروگاه بخاری می‌باشد. نیروگاه بخاری به‌صورت موازی به شبکه برق سراسری متصل می‌باشد. منبع اصلی انرژی نیروگاه، گاز طبیعی می‌باشد. به‌طور کلی حرارت تولید شده در کوره‌های بخار کشت و صنعت در سه بخش اصلی توربین‌های نیروگاه بخاری تولید برق، آسیاب‌ها و فرآیندهای تولید شکر از شیره نیشکر استفاده می‌شود.

بدون در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، در صورتی که کل گاز مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی با ضایعات خشبی کشت و صنعت و کارخانه نئوپان‌سازی جایگزین شود، حدود ۷۹۹۱۱۰ گیگاژول انرژی اولیه از مواد خشبی، اضافه می‌ماند که با بازده ۳۰ درصد تبدیل آن به انرژی برق (Karaj *et al*., 2009)، پتانسیل تولید ۲۳۹۷۳۳ گیگاژول یا ۶۶/۵۹ گیگاوات ساعت انرژی برق از آن وجود دارد. این مقدار انرژی ۴/۱۵ برابر مصرف کل برق جهت تولید تخته نئوپان در سال ۱۳۹۶ است. بازده نیروگاه متأثر از عوامل متعددی نظیر عمر نیروگاه،

1- Sugarcane Harvester

کیفیت و نوع سوخت مصرفی، جنس و مواد سازنده‌ی تجهیزات، بازده تجهیزاتی همچون کوره بخار، ژنراتور، سامانه‌ی خنک‌کننده و کندانسورها، شرایط محیطی، وضعیت بهره‌برداری و نسبت میزان تولید برق به ظرفیت اسمی است (Jezini, 2010).

جدول ٦- مقادیر پسماند خشبی و انرژی گرمایی قابل استحصال از آن‌ها بر حسب GJ

Table 6- Woody residues and their thermal energy (GJ)

نوع پسماند Type of waste	مقدار Quantity (tons per year)	محتوای انرژی Energy content (GJ)	پتانسیل تولید انرژی با ٦٠٪ راندمان کوره Potential of energy production by Furnaces with efficiency of 60%	
			(GJ)	%
باگاس با رطوبت ۵/۳۲٪ Bagasse (5.32% moisture)	20530	368514	221108	21.27
پیت Pith	70400	1142592	685555	65.69
پوشال Straw	4000	65960	39576	3.81
ضایعات سمباده و برش Waste of sawing and sanding	9448	155231	93138	8.96
جمع کل Sum	121848	1732296	1039378	100

با توجه به این‌که حدود دو دهه از تأسیس نیروگاه کشت و صنعت دعبل خزاعی می‌گذرد، نباید انتظار داشت بازده آن در حد نیروگاه‌های جدید و با فناوری روز دنیا باشد. همچنین اصلاح کوره‌ها جهت سوزاندن زیست‌توده، احتمالاً همراه با کاهش بازده کل نیروگاه خواهد بود. حسنکی (Hasanaki, 2018) بازده نیروگاه کشت و صنعت نیشکر کارون (با عمر بیش از چهار دهه) در تولید برق را ۱۳/۲۶ درصد بیان کرد، این در حالی است که انرژی بخار خروجی از توربین‌ها که جهت چرخاندن آسیاب‌های کارخانه عصاره‌گیری نیشکر و سایر فرآیندهای تولید شکر از شیره نیشکر استفاده می‌شود، در نظر گرفته نشده است. بازده نیروگاه بخاری تولید برق از باگاس (از طریق سوزاندن مستقیم در کوره‌ها) در کشور زیمباوه (Mbohwa and Fukuda, 2003) و کشور اتیوپی (Alena and Sahu, 2013) به‌ترتیب حدود ۱۲ و ۱۱ درصد بیان شده است. مبعو و فوکودا (Mbohwa and Fukuda, 2003) بیان می‌کنند که استهلاک تجهیزات و عدم بهره‌وری صحیح، تأثیر به‌سزایی در بازده نیروگاه‌ها دارد به‌طوری که استفاده از تجهیزات و دیگ‌های بخار جدید می‌تواند میزان تولید را تا ۲/۶ برابر افزایش دهد. در صورتی‌که بازده نیروگاه تولید برق پس از اصلاح و باگاس‌سوز شدن کوره‌ها، ۱۰ و ۵ درصد در نظر گرفته شود، به‌ترتیب امکان تولید ۲۲/۲۰ (۱/۳۸ برابر برق مصرفی کارخانه) و ۱۱/۱۰ گیگاوات ساعت (۶۹ درصد برق مصرفی کارخانه) انرژی برق، علاوه بر جایگزینی کل گاز مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی وجود دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که می‌توان کل گاز و بخش عمده برق مصرفی کارخانه تولید نئوپان آریانا را با ضایعات کشت و صنعت و کارخانه نئوپان‌سازی جایگزین کرد (بدون در نظر گرفتن مسائل اقتصادی). حتی بدون استفاده از باگاس مازاد و پوشال و تنها با استفاده از ضایعات داخل خود کارخانه که شامل پیت و خرده چوب برش و سمباده است می‌توان کل گاز مصرفی را جایگزین و ۴۷ درصد برق مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی (با بازده ۵ درصد تبدیل باگاس به برق در نیروگاه بخاری) را تولید کرد.

کارخانه‌های تولید نئوپان از باگاس در استان خوزستان

همان‌طور که قبلاً بیان شد در استان خوزستان دو کارخانه تولید نئوپان از باگاس نیشکر وجود دارند. کارخانه آریانا (در کشت و صنعت دعبل خزاعی) از باگاس کشت و صنعت دعبل خزاعی به‌عنوان ماده اولیه نئوپان استفاده می‌کند. ظرفیت اسمی این کارخانه تولید ۱۱۰۰۰۰ مترمکعب تخته نئوپان در سال است. دومین کارخانه نئوپان‌سازی، شرکت تولید نئوپان کارون (وابسته به کشت و صنعت کارون) با ظرفیت اسمی تولید ۳۰۰۰۰ مترمکعب در سال است. کل انرژی مصرفی جهت تولید نئوپان از باگاس در کارخانه‌های مورد نظر سوخت‌های فسیلی می‌باشد و از ضایعات زیست‌توده موجود جهت تولید انرژی استفاده نمی‌شود. این در حالی است که هر دو شرکت جهت دفع ضایعات خود به خارج از شرکت متحمل هزینه‌های زیادی می‌شوند. مقدار و ظرفیت تولید شرکت‌های تخته نئوپان در جدول ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود تولید شرکت آریانا بسیار کمتر از ظرفیت اسمی خود است (۴۷/۷۲ درصد ظرفیت اسمی). در این شرکت به ازای هر مترمکعب تخته نئوپان ۳/۱ تن

باگاس مصرف شده است. در سال ۱۳۹۶ باگاس مازاد کل کشت و صنعت دعبل خزاعی که با صرف هزینه دفع شده است برابر با ۳۸۰۰۰ تن بوده است (باگاس تازه) که با افزایش تولید شرکت به حدود ۶۴۷۲۸ مترمکعب تخته نئوپان در سال (۵۸/۸۴ درصد ظرفیت اسمی) می‌توان کل باگاس مازاد را مصرف کرد (با افزایش ظرفیت تولید حتی می‌توان از باگاس سایر کشت و صنعت‌ها نیز استفاده کرد) و علاوه بر رفع هزینه‌ها و مشکلات دفع آن، محصول با ارزشی نیز تولید می‌گردد که در صورت استفاده از ضایعات تولید آن می‌توان کل انرژی مصرفی مستقیم آن را نیز تأمین کرد.

جدول ۷- مقدار تولید نئوپان و مصرف باگاس در کارخانه‌های تولیدی خوزستان در سال ۱۳۹۶

Table 7- The amount of chipboard production and bagasse consumption in Khuzestan factory (2017)

نام کارخانه Factory name	ظرفیت اسمی سالانه (m^3) Annual nominal capacity	تولید روزانه (m^3) Daily production	تولید سالانه (m^3) Annual production	باگاس مصرفی (ton) Consumed bagasse
آریانا Ariana	110000	200	52491	163000
کارون Karun	30000	100	30000	93000

پتانسیل تولید زیست‌گاز از ویناس

میانگین سالانه تولید انواع الکل (طبی، صنعتی و روغن الکل) در کارخانه الکل و خمیرمایه رازی از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ برابر با ۳۴۱۴۲/۷ مترمکعب بوده است. بر اساس مقدار کل الکل تولیدی در سال و میانگین تولید نه لیتر ویناس به ازای هر لیتر الکل تولیدی، مقدار سالانه تولید ویناس برابر با ۳۰۷۲۸۴/۵ مترمکعب محاسبه گردید (جدول ۸) که با داده‌های به‌دست آمده از شرکت که بیش از ۳۰۰۰۰۰ مترمکعب بیان شده است، همخوانی دارد. پارسایی و همکاران (Parsaee *et al*., 2018) در مطالعه‌ای که به تولید زیست‌گاز از ویناس کارخانه الکل‌سازی رازی پرداختند، بیان کردند با تولید زیست‌گاز به ازای هر لیتر ویناس می‌توان ۱/۰۷ مگاژول انرژی تولید کرد. بر این اساس و با در نظر گرفتن میانگین حجم ویناس تولیدی از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸، پتانسیل تولید انرژی از ویناس در شرکت رازی (با تخمیر بی‌هوازی و تولید زیست‌گاز) برابر با ۳۲۸۷۹۴ گیگاژول در سال محاسبه گردید. این مقدار انرژی برابر با ۸۸۲۴۳۱۹ مترمکعب گاز طبیعی است که علاوه بر کاهش آلودگی ویناس می‌تواند با سوختن در کوره‌های نیروگاه کشت و صنعت دعبل خزاعی که هم‌اکنون از گاز طبیعی استفاده می‌کند، بخش زیادی از انرژی مورد نیاز کارخانه الکل‌سازی و حتی سایر صنایع تولید شکر را تأمین کند. از این زیست‌گاز تولیدی می‌توان در سامانه احتراق خشک‌کن‌های کارخانه نئوپان‌سازی به‌عنوان سوخت و یا در ژنراتور تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد. پتانسیل تولید زیست‌گاز از ویناس شرکت رازی ۱/۳۷ برابر کل انرژی گاز مصرفی در کارخانه نئوپان‌سازی آریانا است. در صورتی که بازده تبدیل گاز به برق در نیروگاه کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر با ۱۳/۲۶ درصد در نظر گرفته شود (Hasanaki, 2018) پتانسیل زیست‌گاز تولیدی از ویناس (بدون در نظر گرفتن مسائل اقتصادی) علاوه‌بر جایگزینی کل گاز طبیعی، می‌تواند ۳/۲۶ گیگاوات برق نیز تولید کند که برابر با ۲۰/۳۳ درصد برق مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی آریانا است. این در حالی است که کپوتو و همکاران (Caputo *et al*., 2005) بازده تولید برق در نیروگاه با چرخه سیکل بخار- گاز را تا ۵۰ درصد بیان کرده است. بر اساس ترازنامه‌های انرژی کشور، میانگین بازده نیروگاه‌های بخاری کشور در حدود ۳۰ درصد است (Anonymous, 2016).

جدول ۸- حجم الکل، ویناس و پتانسیل تولید زیست‌گاز و انرژی حاصل از آن‌ها

Table 8- The volume of alcohol, vinasse and their potential for biogas and energy production

الکل تولیدی (m^3) Alcohol production	ویناس تولیدی (m^3) Vinasse production	انرژی (GJ) Energy
34142.7	307284.5	328794.4

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مصرف انرژی مستقیم در تولید تخته نئوپان از باگاس نیشکر و امکان جایگزینی آن با ضایعات کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی و صنایع جانبی آن بررسی گردید. انرژی برق، گاز طبیعی و سوخت دیزل انرژی مصرفی مستقیم در تولید تخته نئوپان را تشکیل می‌دهند. انرژی ویژه تولید تخته نئوپان در کارخانه

آریانا برابر با ۵/۸۲۹ گیگاژول به ازای هر مترمکعب تخته به‌دست آمد. میانگین رطوبت باگاس پس از ۳۰ و ۴۰ روز از تولید از حدود ۵۱ درصد به‌ترتیب به حدود ۱۲ و ۵ درصد رسید که نشان می‌دهد، رطوبت باگاس بدون نیاز به سیستم خشک‌کننده خاصی، به اندازه کافی و مناسب جهت سوزاندن مستقیم در کوره‌های بخار و تولید انرژی، کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد با استفاده از پسماند خشبی کارخانه نئوپان‌سازی و کشت و صنعت دعبل خزاعی می‌توان ۴/۳۳ برابر کل انرژی گاز مصرفی در کارخانه نئوپان‌سازی انرژی حرارتی تولید کرد و تنها با استفاده از پیت کارخانه نئوپان‌سازی امکان تولید ۲/۸۵ برابر کل مصرف گاز کارخانه وجود دارد. همچنین تنها با استفاده از ضایعات کارخانه نئوپان‌سازی می‌توان کل گاز مصرفی را جایگزین و ۴۷ درصد برق مصرفی کارخانه نئوپان‌سازی برق تولید کرد. بررسی حجم و پتانسیل تولید زیست‌گاز از ویناس شرکت الکل‌سازی در کشت و صنعت دعبل خزاعی نشان داد امکان تولید انرژی معادل ۸۸۲۴۳۱۹ مترمکعب گاز طبیعی در سال وجود دارد. در کل نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از ضایعات شرکت نئوپان‌سازی و کشت و صنعت نیشکر پتانسیل جایگزینی کل گاز و برق مصرفی شرکت نئوپان‌سازی وجود دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (۲۶۲۴۷) تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

1. Alena, A., and O. Sahu. 2013. Cogenerations of energy from sugar factory bagasse. Energy Engineering 1 (2): 22-29.
2. Andekaizade, A., M. J. Sheikh Davoodi, and M. Byria. 2018. Qualitative and quantitative features evaluation of two methods of sugarcane harvesting (with aim of energy and sugar production). Journal of Agricultural Machinery 8 (1): 212-221. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22067/jam.v8i1.53629.
3. Anonymous. 2016. Energy Balance Sheet. Iran Ministry of Energy. Power and Energy Planting Department Publication. (In Persian).
4. Anonymous. 2018. Statistical Yearbook of agriculture. Statistical center of Iran. (In Persian).
5. Arshad, A., and S. Ahmed. 2016. Cogeneration through bagasse: A renewable strategy to meet the future energy needs. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54: 732-737.
6. Baguant, J. 1984. Electricity Production from the Biomass of the Sugarcane Industry in Mauritius. Biomass 5: 283-297.
7. Birru, B., A. Martin, and C. Erlich. 2016. Sugar Cane industry overview and energy efficiency considerations, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
8. Caputo, A. C., M. Palumbo, P. M. Pelagagge, and F. Scacchia. 2005. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. Biomass and Bioenergy 28: 35-51.
9. Dantas, G. A., L. Legey, and A. M. Mazzone. 2013. Energy from sugarcane bagasse in Brazil: An assessment of the productivity and cost of different technological routes. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 356-364.
10. Demirbas, M. F., M. Balat, and H. Balat. 2009. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. Energy Conversion and Management 50: 1746-1760.
11. Evans, A., V. Strezov, and T. J. Evans. 2010. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 1419-1427.
12. Flausinio, B., A. Costa, R. Pinheiro, and A. Fortini. 2014. Theoretical Study about the Cogeneration Potential of the Bagasse Sugarcane at the Brazilian State of Minas Gerais. International Journal of Energy Science 4 (2): 35-42.
13. Fowler, P., G. Krajacic, D. Loncar, and N. Duic. 2009. Modeling the energy potential of biomass. International Journal of Hydrogen Energy 34: 7027-7040.
14. Halder, P. K., M. A. Hossain, N. Paul, and I. Khan. 2014. Agricultural residue for electricity generation in Bangladesh. Journal of Mechanical and Civil Engineering 11 (2): 89-95.
15. Haroni, S., M. J. Sheykhdavodi, and M. Kiani Deh Kiani. 2018. Application of artificial neural networks for predicting the yield and GHG emissions of sugarcane production. Journal of Agricultural Machinery 8 (2): 389-401. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22067/jam.v8i2.52870.
16. Hasanaki, N., Y. Mansoori, and A. Asakereh. 2019. Potential of substituting bagasse for natural gas in Karun sugar factory and its economic evaluation. Iranian Journal of Biosystem Engineering 51 (1): 11-21. (In Persian).
17. Hasanaki, N. 2018. Technical and Economic Feasibility Study of Heat and Power Production in Karoon Sugar Factory Using a Hybrid System of Biomass, Photovoltaic, and Natural Gas. MSc thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
18. Jadidyan, F., M. Talaeipoor, S. Mahdavi, and A. Hamasi. 2016. Evaluation of thermal energy and activated carbon

production from bagasse pith. Iranian journal of Wood and Paper Science Research 31 (2): 181-193. (In Persian).
19. Janghathaikul, D., and S. H. Gheewala. 2005. Environmental assessment of power generation from bagasse at a sugar factory in Thailand. Energy 6 (1): 57-66.
20. Jezini, M. 2010. Investigating the effect of environmental conditions and optimization measures affecting the efficiency of thermal power plants. Journal of Electrical Industry 161: 38-44. (In Persian).
21. Karaj, S. H., T. Rehl, H. Leis, and J. Muller. 2009. Analysis of biomass residues potential for electrical energy generation in Albania. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 493-499.
22. Kim, M., and D. F. Day. 2011. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 38: 803-807.
23. Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol, V, Energy and Biomass Engineering. ASAE Publication, ST Joseph, MI.
24. Mashoko, L., C. Mbohwa, and V. M. Thomas. 2013. Life cycle inventory of electricity cogeneration from bagasse in the South African sugar industry. Cleaner Production 39: 42-49.
25. Mbohwa, C., and S. H. Fukuda. 2003. Electricity from bagasse in Zimbabwe. Biomass and Bioenergy 25: 197-207.
26. McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource Technology 83: 47-54.
27. Mohlala, L. M., M. O. Bodunrin, A. A. Awosusi, M. O. Daramola, N. P. Cele, and P. A. Olubambi. 2016. Beneficiation of corncob and sugarcane bagasse for energy generation and materials development in Nigeria and South Africa: A short overview. Alexandria Engineering Journal 55: 3025-3036.
28. Mondal, M. A. H., and M. Denich. 2010. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 2401-2413.
29. Moreira, J. R. 2006. Global biomass energy potential. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11 (2): 313-342.
30. Parsaee, M., M. Kiani, and A. Takdastan. 2018. Biogas production from sugar cane vinasse using a Static Granual Bed Reactor (SGBR). Fuel and Combustion 11 (2): 69-78. (In Persian).
31. Pellegrini, L. F., and S. Junior. 2011. Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermo economic and environmental analysis and optimization. Energy 36: 3704-3715.
32. Pourasad, K., A. Zali, M. Ganjkhanlou, A. Emami, and A. Hatefi. 2015. Effects of replacing molasses with sugar beet vinasse on performance, blood and ruminal parameters in Mahabadi kids. Journal Management Systems 3 (3): 11-21. (In Persian).
33. Ramjeawon, T. 2008. Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius. Journal of Cleaner Production 16: 1727-1734.
34. Rathnasiri, K., S. A. S. Senarath, A. G. T. Sugathapala, S. C. Bhattacharya, and P. A. Salam. 2005. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka. Biomass and Bioenergy 29 (3): 199-213.
35. Restutia, D., and A. Michaelowa. 2007. The economic potential of bagasse cogeneration as CDM projects in Indonesia. Energy Policy 35: 3952-3966.
36. Seabra, J. E. A., and I. Macedo. 2011. Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazi. Energy Policy 39: 421-428.
37. Singh, J., B. S. Panesar, and S. K. Sharma. 2008. Energy potential through agricultural biomass using geographical information system-A case study of Punjab. Biomass and Bioenergy 32: 301-307.
38. Soleymani, M., A. Keyhani, and M. Omid. 2018. Life cycle assessment, Ethanol, Sugarcane, Biofuel. Journal of Agricultural Engineering 40 (2): 13-27. (In Persian).
39. Tang, J., W. Zhu, K. Kookana, and A. Katayama. 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. Journal of Bioscience and Bioengineering 116 (6): 653-659.